

川崎で捉えた小惑星探査機「はやぶさ2」のスイングバイの観測

佐藤幹哉*・弘田澄人*・成瀬裕子*

Observation of the Earth swing-by for Asteroid Explorer “Hayabusa2” at Kawasaki

Mikiya Sato*, Sumito Hirota* and Yuko Naruse*

1. 背景

1-1. 小惑星探査機「はやぶさ2」について

探査機「はやぶさ2 (Hayabusa2)」は、宇宙航空研究開発機構 (JAXA) の宇宙科学研究所 (ISAS) の探査機である。これは、小惑星イトカワ (25143 Itokawa) を探査し、サンプルリターンを果たした探査機「はやぶさ」の次に、小惑星探査を行う探査機であり、2014年12月3日に種子島宇宙センターよりH-IIAロケット26号機により打ち上げられた。探査の対象となる小惑星はリュウグウ (162173 Ryugu) である。小惑星へ向かう軌道に投入するため、打ち上げから約1年後に地球へ接近し、地球の重力を利用して軌道を変化させる「スイングバイ」が予定された。リュウグウへの到着は2018年で、探査が終わりサンプルを地球に持ち帰るいわゆる「サンプルリターン」は2020年が予定されている。

1-2. スイングバイと観測キャンペーン

スイングバイは、2015年12月3日で、地表まで約3,000 km の距離の経路を通過する予定であった。打ち上げ時と、サンプルリターンを果たしてカプセルが帰還する時を除けば、この「はやぶさ2」が地球から直接観測できるチャンスは、地球に接近するスイングバイの時だけである。小惑星に向かう探査機の姿を捉えることができ

ば、アウトリーチ活動にも大いに活用できる。そこでこの絶好のチャンスに探査機「はやぶさ2」を観測しようと、当館も所属する日本公開天文台協会 (JAPOS) などによって観測キャンペーンが呼びかけられた。

そこで当館においても、このキャンペーンに参加し、アストロテラスの観測機材を使用した観測を実施することとした。当館の参加情報は、観測キャンペーンのウェブサイトを通じて公開された。

2. 観測計画

2-1. 観測に必要な情報について

スイングバイの観測にあたり、探査機の位置 (経路) や予想される明るさについての情報が必要となる。位置情報については、宇宙科学研究所より日本公開天文台協会を通じて提供された。観測可能な時刻は、18時20分～18時55分頃で、予報位置は、りゅう座～こぐま座～きりん座などの北天であった。これを図1に示す。

なお明るさについては、同じ機体が観測されたことがないため予報は困難であったが、三島和久氏 (倉敷科学センター 主任・学芸員) により、明るい場合で10～11等級台が予想されるという情報が提供された。また同氏からは、観測の様々な参考情報が提供された。

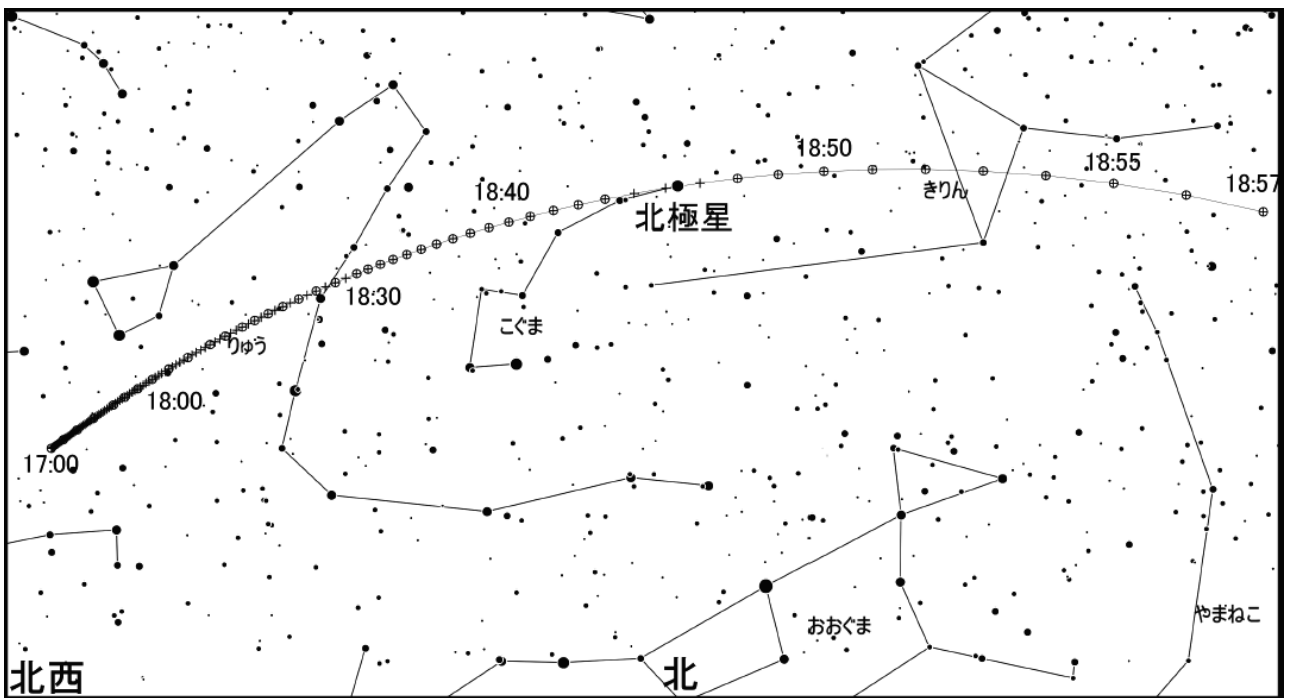


図1. はやぶさ2の移動経路予報.

(図は StellaNavigator (Astro Arts) より加工して作図)

表 1. 観測に使用した機材.

機材	望遠鏡	撮影機材	記録フォーマット
機材 1	30 cm 反射型望遠鏡 (ミューロン 300CRS、レデューサー使用にて焦点距離約 2000mm、F 約 6.7)	SONY α7S (ミラーレス一眼カメラ) 感度設定: ISO 10,2400、 露出: 1/30 秒	MP4 動画 (XAVC S 形式、ハイビジョンサイズ)
機材 2	20 cm 屈折型望遠鏡 (レデューサー使用にて焦点距離約 1300mm、F6.5)	WATEC WAT-902 H2 ULTIMATE (1/2 サイズ高感度 モノクロ CCD カメラ) 露出: 1/30 秒	動画 (DV-mini テープに録画、SD サイズ)
機材 3	20 cm 屈折型望遠鏡 (焦点距離 1800 mm、F9.0)	CANON 5D mark II (一眼レフカメラ) 感度設定: ISO 6,400 露出: 5 秒露出にて連写撮影	静止画 (フルサイズ・5616×3744 ピクセル)

2-2. 当館における観測計画

提供された情報に基づき、当館での観測体制を計画した。当館は市街地に立地しており、今回のような暗い移動天体の撮影は実績がない。しかしながら、当館のアストロテラスでは、スライディングルーフの同じスペース内に、20 cm 屈折望遠鏡 2 台、30 cm 反射望遠鏡 1 台の計 3 台を、それぞれ据え付け型赤道儀に設置して独立に観測できるという特徴を持っている。そこでこれらを全て活用し、3 種類の観測方法にて臨むこととした。実際に観測に使用した機材について表 1 にまとめた。

まず今回のような高速の移動天体については、当館ではその位置に合わせて望遠鏡を追尾していく撮影を実施することができない。このため、撮影方法は、予報位置に度々望遠鏡 (写野) を移動し、待ち伏せして撮影を行う方法をとることとした。

これまでの当館の観測実績では、30 cm 反射望遠鏡に WATEC 製の高感度モノクロ CCD カメラを取り付けることで、10 等級の恒星を動画にて鮮明に撮影できている。動画撮影のため、同条件であれば移動天体においても 10 等級までは十分に捉えられる可能性があった。また透明度の状況次第では 11 等級台まで撮影できることが見込まれた。ただし今回の観測では、対象が比較的高速で移動していくため、写野の導入精度を見込むと同じ条件では視野が狭くなり好ましくない。そこで、WATEC に準ずる感度であり、より広視野を得られる α7S を 30 cm 反射望遠鏡と組み合わせて、動画撮影に臨むこととした。視野を広くとるためにレデューサーを装着して観測することとした。感度は、ざらつきが目立たない実用最高感度となる ISO 感度 102,400 に設定し、30 分の 1 秒の露出にて撮影することとした (機材 1)。

高感度モノクロ CCD カメラである WAT-902 H2 ULTIMATE (WATEC 製) については、今回は 20 cm 屈折望遠鏡に装着して撮影することとした。より視野を広くするため、13 cm 屈折用のレデューサーレンズを取り付けて焦点距離を約 1,300 mm まで短くし、撮影することにした (機材 2)。映像は、掩蔽観測や流星観測など、動

きのある観測に実績のある mini-DV テープ録画装置にて記録した。

また、これまでに暗い移動天体が撮影された観測は、おもに静止画撮影によるものである。この場合は、対象のはやぶさ 2 が線状になって写ることになる。この方法については、20 cm 屈折望遠鏡に一眼レフデジタルカメラである 5D mark-II (CANON 製) を取り付けて、実用感度内で最高感度となる ISO 6400 にて撮影することとした (機材 3)。

機材 1～機材 3 の視野を図 2 に示した。

なお、動画用機材は、明るくなると予想される 18 時 50 分前後 10 分ほどが切れ目無く撮影できるように撮影を実施した。また静止画用機材は、5 秒露出を繰り返し撮影することで観測した。望遠鏡の位置を移動する間隔は、18 時～18 時 10 分は 5 分おき、18 時 10～16 分は 3 分おき、18 時 16 分～30 分は 2 分おき、18 時 30 分以降は 1 分おきとした。

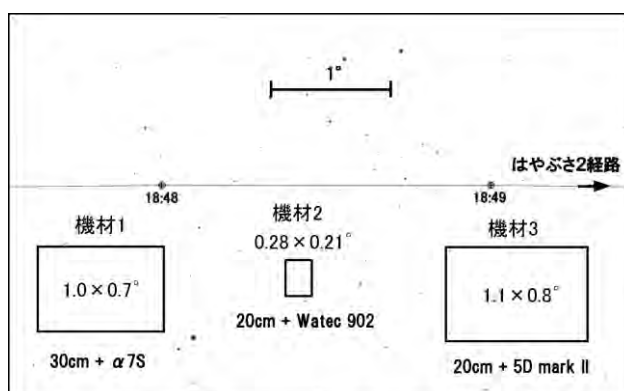


図 2. 各機材の視野とはやぶさ 2 の予報経路.

3. 当日の観測

3-1. 当日の天候の概要

観測当日は、雲が多く天候が不安定であった。天候の概要を表 2 にまとめる。

表 2. 当日の天候の概要.

時間帯	天候の概要
17 時頃	晴れ
17 時～17 時 30 分頃	くもり
17 時 30 分～18 時	時折晴れ間が広がる (※赤道儀設定)
18 時～18 時半頃	厚い雲に覆われる
18 時半過ぎ～	予報位置 (北) に 晴れ間が広がる
18:46 頃 (北極星付近を通過)	予報位置は薄雲
18:47～18:52	予報位置は晴れ間の中
18:52～	予報位置は雲

※赤道儀のポインティング (導入) 修正の設定を実施.

3-2. 観測の概況

観測 (撮影) は、おおむね 18 時から開始したが、実際には悪天候により、撮影や望遠鏡視野の移動をしていない時間帯もあった。18 時 30 分頃からは晴れ間が広がったことにより、おおむね計画通りに実施した。なお、機材 1 の操作を成瀬が、機材 2 の操作を佐藤が、機材 3 の操作を当館の天文サポーター (ボランティア) が交代で務めた。

当日は、機材 1 と機材 3 については大型のモニターを、機材 2 については録画装置の小型のモニターを目視にて確認し、撮影状況を監視した。結果、機材 2 のモニター上で 18 時 48 分に最初にはやぶさ 2 の移動する光点を確認した。その後、18 時 49 分から 18 時 52 分までは機材 1 のモニターでも光点を確認できるようになった。18 時 52 分以降は、雲の中に光点が突入し、その後は観測されなかった。

3-3. 各機材の観測状況

最も鮮明にはやぶさ 2 の光点を撮影できたのは、機材 1 のシステムであった (図 3)。これは 30 cm という光量を稼げる光学系に、フルサイズのみラーレスカメラで視野を広くとれ、また ISO 感度約 10 万という当時コンシューマー用としては最大感度の機材 ($\alpha 7S$) で撮影できたことが功を奏したと考えられる。視野の中を移動していく光点は、モニター上で鮮明に映し出された。この模様は、当日訪れた取材陣により収録され、観察している様子とその機材 1 による映像が報道された (後述)。

機材 2 では、最も早い時間帯、すなわち最も暗い状態から、はやぶさ 2 の光点を撮影することができた (図 4)。Wat-902H の感度が非常に高かったことによると考えられる。ただし、視野が狭いことにより、はやぶさ 2 の光点が映っていないデッドタイムが多く生じてしまったことは残念であった。

一方、機材 3 においては、恒星については 12 等級台後半まで撮影できており写る可能性があったが、実際にはほとんどその像を写し出すことができなかった (図 5)。

これは、はやぶさ 2 が移動していく中で、その瞬時の光量が背景の空の明るさよりも有意に明るくできなかったことによるものである。結果論であるが、感度を常用使用よりも高く設定し、5 秒よりも短い露出を繰り返せば、もう少し鮮明な像を得ることができたと考えられる。

4. 取材の対応と館内での公開

4-1. 取材の対応

取材には、弘田が担当して対応した。当日は、テレビ局 3 社と通信社 1 社が訪れ、その他にも画像と映像を提供した。日本公開天文台協会 (JAPOS) のウェブ等にて、当館が 3 種類の機材を使用して観測に臨むことが判明していたことにより、多くの取材が訪れることになったと考えている。

実際に観測に成功したこともあり、当日夜・翌朝・週末と多くのテレビ番組によって放映された。その概略を表 3 にまとめた。

表 3. テレビ局の取材と放映の状況.

放送局	番組名と放映日
TBS	ニュース 23 (12/3・当日夜※)
テレビ朝日	グッド・モーニング (12/4・翌日朝)
NHK	週間ニュース深読み (12/5・土曜日朝)

※TBS については、翌日も同様のニュースが数回放映された。

また共同通信社から記事が配信されたことにより、神奈川新聞を始め、地方紙を中心として多くの紙面にて報道されるに至った。

番組の放映や新聞による報道の影響は大きく、多くの来館者に観測成功の喜ぶ声をかけられることとなった。そのアウトリーチ的な効果は非常に大きかった。

4-2. 科学館での公開

市街地立地の当館としては、観測が成功する可能性は高くないと考えられたため、当日に一般市民が参加するような会を企画するには至らなかった。公開天文台という立場の施設として、これは大変残念なことであった。一方で、各種報道により成功が報じられた後の来館者からは、観測成功を喜ぶ声が多く寄せられたため、救われる思いであった。このような期待に応えるために、まずは翌日からプラネタリウムの投影にて、観測映像を投影した。また、数日後からは、2 階展示室のモニター画面にて、観測映像を公開した。



図 3. 機材 3 (30 cm+ α 7S)による映像.
(※動画から合成)

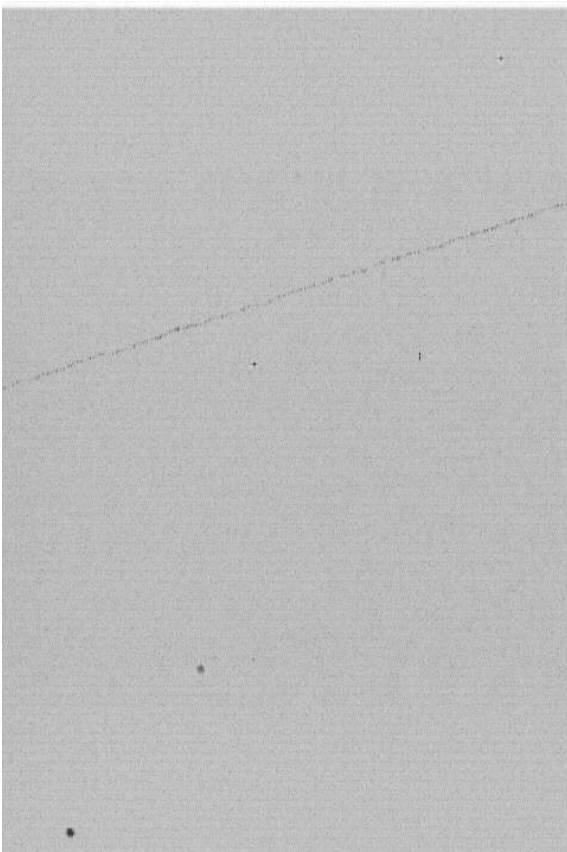


図 4. 機材 4 (20 cm+Wat-902H2) の映像.
(※動画から合成、白黒を反転表示)

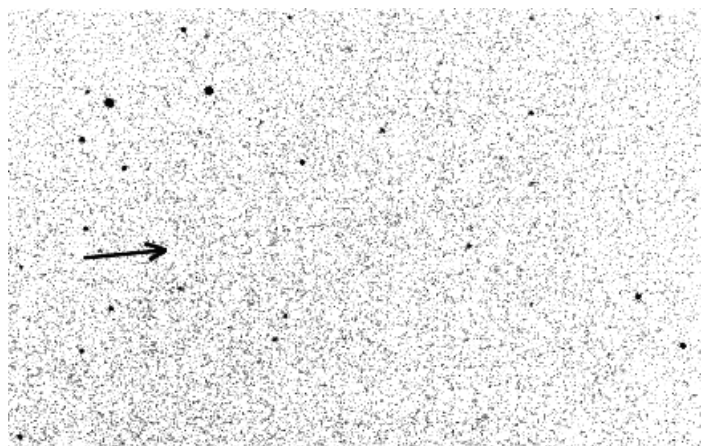


図 5. 機材 3 (20 cm+5D mark II) による映像 (拡大).
(※白黒を反転させて表示、矢印の先の線がはやぶさ 2 の光点)

らの理由から、得られた動画からはやぶさ 2 の等級変化を測定できる可能性がうかがわれたため、これを実施した。解析については、連続的に光量を解析できる掩蔽観測の測定用ソフト「Limovie」を使用して、移動していくはやぶさ 2 の光点と、同時に映っている各恒星の光量を測定した。測定はアパーチャー法によって実施した。光量と等級の関係は、各映像に映った恒星についてリニアリティを検証して行った。この結果、7~11 等級について保証されていることを確認した。なお等級は、一つ (同一時刻)の視野において、光点のはっきりと確認できるコマについて実施した。

各時刻における等級の推移を図 6 に示した。映像上では、18 時 44 分には 11 等級前半半になったはやぶさ 2 の像を捉えることができていた。その後雲があり、測定できない状況が続いたが、18 時 48 分から鮮明な映像を得られ等級が測定できるようになった。結果、雲に入る

6. 等級の測定

機材 2 では、記録された動画の圧縮率が低く、またデバイスが光量測定に適する CCD を使用している。これ

直前の 18 時 52 分には、約 10.2 等級まで増光していたことが判明した。

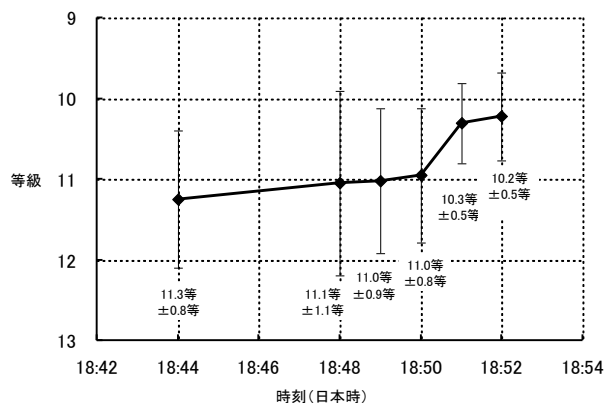


図 6. はやぶさの等級推移 (機材 2 の解析).

なお、エラーバーについては、測定コマ全体の標準偏差を用いて表示している。これには測定誤差も含まれるが、はやぶさ 2 が非常に短時間に光度を変化させていた事実もあり、この 2 つの影響が値に反映していることにより少々大きな値をとっている。

JAXA はやぶさ 2 プロジェクトによると、はやぶさ 2 の等級測定に成功したのは、西はりま天文台 (兵庫県、口径 2 m)、東京大学木曾観測所 (長野県、口径 1.05 m)、美星スペースガードセンター (岡山県、口径 1 m) である。

当館の観測は口径 20 cm の望遠鏡ではあったが、前述の大望遠鏡に劣らない観測結果を得ることができた (JAXA はやぶさ 2 プロジェクト, 2016)。

7. まとめ

今回、市街地に立地しているという条件ではあったが、微光が予想される「はやぶさ 2」の観測に成功することができた。またその結果は、館内での公開を通して市民に伝えるばかりではなく、報道を通じて広く全国に伝えることができるに至った。アウトリーチの効果は非常に高かった。また等級解析についても、大型望遠鏡に劣らない結果を得ることができた。このことは、当館における観測が、アウトリーチ面においても、研究面においても非常に高い意義を持つ可能性があるということを示すこととなった。今後も市民の関心の高い観測については、積極的に実施していくことが重要であると考えられる。

本内容については、2016 年春・天文学会年会および 2016 年 6 月日本公開天文台協会全国大会にて発表した。

7. 参考文献

インターネット情報

JAXA はやぶさ 2 プロジェクト, 2016.

<http://www.hayabusa2.jaxa.jp/topics/20160314/>
(閲覧: 2016 年 6 月 24 日)